日菌報 (Trans. mycol. Soc. Japan) **21**: 505–512, 1980

マツタケのシロ形成初期の状態について

小川　真*・伊藤　武**・小林　藤雄**・藤田　博美**

Makoto OGAWA*, Takeshi ITO**, Fujio KOBAYASHI** and Hiromi FUJITA**:

On the primary stage in 'Shiro' formation of *Tricholoma matsutake*

Summary

The primary growth stage of a Shiro, fungal colony, of *Tricholoma matsutake* was investigated for young Shiros formed in *Pinus densiflora* forest. Shiro formation was frequently found on small terraced areas where young pine roots were distributed densely underground. At first, the Shiro was formed as a small and shallow colony in the mineral soil horizon one or two years after the mycorrhiza formation. Fruit bodies developed sporadically in the third year when the quantity of mycelium reached a level capable of producing them. Fairy ring formation was observed in the fifth year after the onset of Shiro formation. These estimates have been based on the profile of a young Shiro and the analysis of age rings of roots growing around its center. After the primary stage, the annual growth width of mycelium in soil appeared to be constant, irrespective of age, and the microbial flora inside the Shiro was extremely scanty due to its ability to exclude soil bacteria and fungi, especially from the active mycorrhizal zone.

マツタケが土壌中に菌糸集団，すなわちシロを形成すること，シロの上にフェアリーリングをつくって子実体を発生すること，シロが菌根形成期からシロ形成および拡大期をへて衰退期に至る生長過程を示すことなどはすでに明らかにされている（小川，1975a）．また拡大期におけるシロの生長状態や菌根の状態，シロの内部構造とそこにおける土壌微生物相の特徴などについてもくわしく報告されている（小川，1975b，1977）．

しかし，シロの生長過程の中でも初期過程とくに菌根形成期とシロ形成期については不明な点が多かった．シロ形成過程を知るためには子実体発生が始まったばかりのシロ，いわゆる初シロをとらえて，その拡大生長の状態を調査しなければならない．この報告では実際に測定したシロを用いてシロ形成期の状態について調査した結果を述べる．

調査を行ったアカマツ林は1965年前後に下木草の刈り取りが行なわれ，1970年頃からシロ形成が盛んになった林分である．この林分内の子実体発生位置は毎年記録されており，シロの形成から拡大にいたる過程が約50個のシロで確認されている（伊藤，小川，1979）．調査地は京都府船井郡瑞穂町質美下区の区有林で，アカマツの林令45年，土壌は古生層，砂岩および頁岩

* 国立林業試験場土壌微生物研究室，〒305 筑波農林研究団地郵便局私書箱16号，茨城県稲敷郡茎崎村松ノ里1．Forestry and Forest Products Research Institute, P. O. Box 16, Tsukuba Norin Kenkyu Danchi, Ushiku, Ibaraki 305, Japan.

** 京都府林業試験場，〒629-11 京都府船井郡和知町大字本庄．Forest Experiment Station of Kyoto Prefecture, Wachi-cho, Funai-gun, Kyoto Pref. 629-11, Japan.

を母材とした BA～BB 型土壌である．この調査地の環境およびマツタケのシロの増加などについては，すでに報告した通りである（伊藤，小川，1979）．

方　　法

1.　子実体発生位置の測定

調査林分に発生したマツタケの子実体はすべて採取し，発生量を記録した．子実体の石づきの位置に正確に針金のくいを立て，発生位置を記録した．初シロの場合は子実体の発生から 2–3 年経過した後，シロの推定中心を定め，中心の測量基準杭から年ごとの子実体発生位置を測量し，子実体発生位置図をシロごとに作図した．測定したシロのうち，Fig. 1 に示した No. 28 は斜距離で測定した後，水平距離に直して作図し，他のものは斜距離のまま作図したものである．また，子実体発生位置周辺の無色にぬった部分はその年に菌糸の活性が高かったものと推定される場所を示す．

2.　シロの中心における根の分布と年輪の測定

若いシロの中心近くにおける根の分布状態を測定するために数個のシロを選び，A_0 層と HA 層を順次とり除いて観察を行った．HA 層内および B, C 層に分布する根については箒で土壌をとり，露出させ，ビニールシートをかけて，根の位置をうつしとった．シロ形成時に一度菌根になったと思われる直径 0.3–0.5 cm の根をシロの中心近くで数本とり，切断して年輪を測定した．この年輪の数からその根が菌根となった年を推定した．

3.　若いシロにおける土壌微生物相の調査

Fig. 3 に示すようにシロの右下 1/4 の部分について A_0 層と HA 層を除き，根と菌糸層を露出させ，菌根，土壌，菌糸層の特徴をしらべて，シロの令を推定した．ついで，シロの中心を通る線に沿って試坑を掘り，シロの断面形態を観察記録した．

土壌微生物分離用試料は断面上の各点から採取し，一週間冷蔵した後に分離培養実験に供した．微生物の分離培養は希釈平板法によって行ない，糸状菌分離用にはローズベンガル加グルコース・ペプトン培地を，細菌と放線菌の分離用には土壌煎汁培地を用いた（土壌微生物研究会編，1975）．

結 果 と 考 察

1.　若いシロにおける子実体の発生状態

Fig. 1 は従来発生した記録のなかった場所へ始めて子実体があらわれ，形成の始まりから観察されてきたシロである．No. 2 のシロでは 1976年に子実体が 3 本（うち 1 本はくさる），1977年には 7 本が群生した．1978年には15本発生して小さなフェアリーリングとなり，1979年には菌糸が円形に広がっていることが確認された．

No. 18 のシロでは1971年と1972年に子実体が 1 本ずつ発生し，4 年目からほぼ環状に発生するようになった．ただし，シロのほぼ 1/3 に相当する部分にはほとんど発生がなく，子実体の発生状態は完全ではなかった．No. 2 と No 18 およびこれまでに測定された28個のシロについてみると，最初に子実体を発生する位置はシロの中心から 30–40 cm 外方である．また，子実体の発生状態をみると，初めは弧生するが，1–2 年後には群生する．

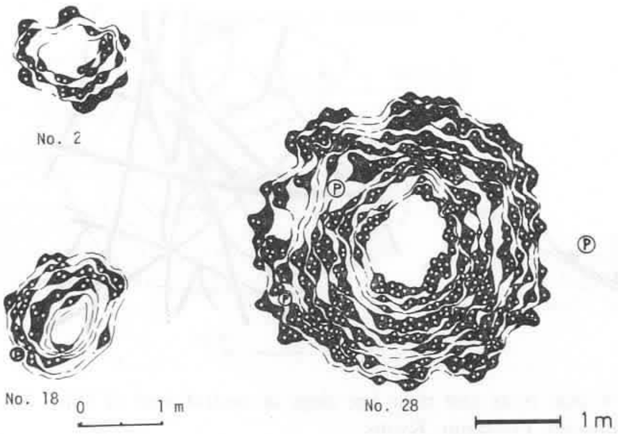


Fig. 1. Primary stage of Shiro growth of *Tricholoma matsutake* in *Pinus densiflora* forest, Shitsumi, Funaigun, Kyoto.
White dots indicate the fruit-body occurring positions, and the black parts the mycelial zone affecting fructification. P: *Pinus densiflora*. Shiro No. 28 formed the typical fairy ring ranging from 1970 to 1979. Annual growth of mycelium in soil was 15 cm in average. Shiro No. 2 has produced the fruit-bodies from 1976 to 1979, and Shiro No. 18 from 1971 to 1976.

No. 28 のシロでは1970年から子実体発生がみられたが，最初から直径 50 cm もあるフェアリーリングをえがく環状発生であった．子実体の発生本数も多く，No. 2, No. 18 のシロと比較すると，始めの数年子実体の発生がなかったようで，この年には前年生長した菌糸の上にも，子実体が発生しているようにみえる．前年までは，シロが子実体の初発に充分な大きさまで拡大していても，不適な気象条件などによって発生が抑制されていたものであろう．

菌糸の生長量を正確に測定することは困難であるが，No. 28 のシロでは子実体発生位置の移動が規則的であり，シロ拡大期には菌糸の年生長幅はシロの令によって変化しないものと思われる． No. 28 のように完全なフェアリーリングをえがいて子実体を発生しつづけるシロは稀であり，部分的に欠けたり，重合したりするものが多い．

2. シロの中心における根の分布と年輪

Fig. 1 に示したシロ No. 2 の中心部分の A_0 層をかきとり根を露出させて分布状態をみたのがFig. 2 である．図に示した根はいずれも HA 層（表層土壌）に分布していたもので，直径は 0.7 cm 以下と比較的細かった．これらの根は HA 層から A_0 層の下部へかけて網目状に伸びており，そのほとんどが徒長し，菌根を脱落させた跡をもったものであった．シロ形成初期にいったん菌根となった根または菌根の母根となった根と思われる．シロの中心近くにある根はいずれも樹皮を形成した古い根であり，現在生長している若い根はまったく認められなかった．

根の大部分がシロの外側に向って伸びているが，中には外側からシロに侵入し，拡大してくるマツタケの菌糸にゆきあって，菌根を形成し，生長方向をシロの外側へとUターンさせたものも認められた．根の密度はシロの外側で調べたどの場所に比較しても異常に高く，マツタケのシロの生長につれてアカマツの根が増加したことがわかる．

シロの中心近くで直径 0.3–0.5 cm の根を切りとり，年輪をしらべたところ，もっとも太い

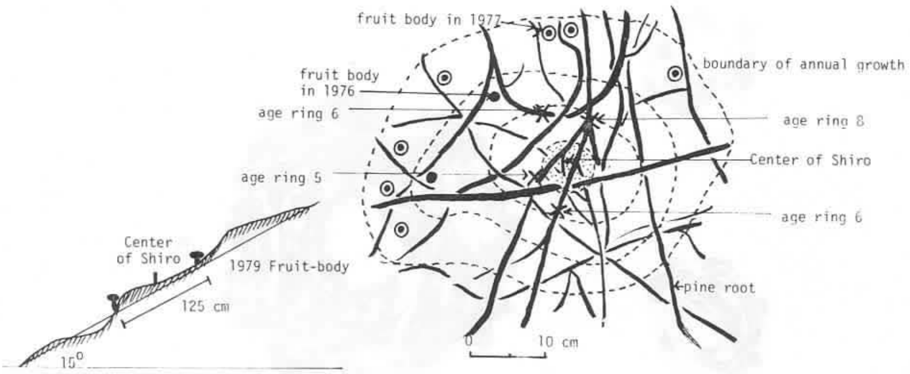


Fig. 2. Distribution of pine roots and their age rings in central area of Shiro No. 2.
Oct. 11, 1979. Shitsumi, Funaigun, Kyoto.
Shiro No. 2 was formed on the small terrace where the pine roots were densely distributed near the surface of mineral soil horizon, and expanded on the slope with an angle of inclination 15°. It was probable that this Shiro was formed 7 years ago, and that the fruit-bodies began to be produced after three years of mycorrhiza formation. Age rings of roots were estimated at the points shown by x marks.

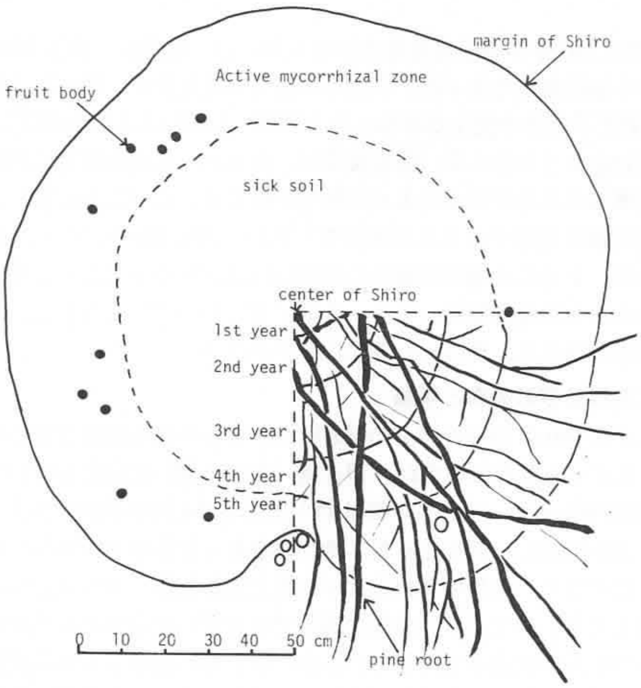


Fig. 3. Shiro in primary stage and the distribution of roots near surface.
Oct. 23, 1978. Shitsumi, Funaigun, Kyoto.
The distribution of roots and the feature of the mycelial zones were investigated after removal of litter layer and surface soil of mineral soil horizon. This Shiro was formed 5 years ago. The mother roots which were able to produce the fine roots and mycorrhizae, were growing outwards across the Shiro.

根のものが8年，その根から出たやや細い根のものが5年と6年になった．Uターンした根では年輪が6年になり，シロの中心近くでは，恐らく初シロの形成と一致してほぼ一勢に発根があったものと思われる．すなわち，このシロは4年間子実体を発生しつづけており，年輪が5年と6年の根はシロができてから1–2年後に菌根をつくったものと思われる．年輪が8年の根はシロ形成以前に生長しており，多くの菌根の母根になったものであろう．この根の分布状態からみて，子実体がはじめて発生するためには菌糸が集団をつくって伸びはじめてから3年はかかるものと思われる．

このシロの中心は緩斜面の小さな棚状地形の肩のところに位置していた．この位置は落葉がたまりにくく，人が歩行すると鉱質土層が露出しやすいところである．アカマツの根は表層土壌に集まりやすく，地形的にはシロの形成に適した場所である．このシロの中心では後にも述べるようにイヤ地の範囲が浅く，深さ4 cmにすぎず，最初の菌根形成が地表近くで起り，シロが表層に浅く形成されることがわかる．

近接するアカマツの若令林分にある推定令5年のシロの表面をはいで，鉱質土層の深さ0–5 cmまでの範囲に分布する根を調べた結果をFig. 3に示す．シロの中心には直径0.3–0.7 cmの根が高密度に分布しており，深さ3 cmの位置には0.5–0.7 cmの太い根が5本，シロの外側へ向ってほぼ直線状に伸びていた．これらの根はシロNo. 2でみたのと同様にいったん菌根の母根となったもので，同じ太さの根はシロの外側にはほとんど認められなかった．

直径0.3 cm以下の細い根は太い根とつながり，シロの外側へ向ってほぼ放射状に伸びていた．菌糸の拡大につれて菌根が形成され，シロの外側へと生長したものである．このような傾向はマツタケのシロに一般的なものと思われる（小川，1975b）．

3. 若いシロの断面形態と土壌微生物相

Fig. 3のシロの中心を通る線にそって試坑を掘り，シロの断面を観察したのがFig. 4である．子実体発生時期の10月に調査したので，子実体発生位置の下では土壌が乾燥しはじめ，菌糸が綿毛状となり，菌根も萎縮しはじめていた．シロの先端には活性菌根をもった層IIがうすくとりまいており，秋のシロの生長が始まっていた．前年子実体を発生した位置，層IVは菌糸層の厚さが層IIIとほぼ同じであり，イヤ地化が進んでいた．層Vは浅く，土壌が乾燥し，層VIはさらに浅くなった．これはもとあった菌糸層が消えてイヤ地化し，下の方からイヤ地が消えて浅くなったものではなく（小川，1975a），もとから菌糸層が浅かったためである．シロの中心ではイヤ地の層が不明りょうになり，土壌の乾燥した部分は浅い．ただし，このうすい層の中にも菌根の分解した残がいが認められた．シロの中心の浅いイヤ地の部分は直径約4 cmの円形であった．

シロの断面にみられる菌糸と菌根の状態から菌糸層は毎年規則的に約20 cmずつ拡大しており，このシロは菌糸集団ができてから少なくとも5年を経過したものであるといえる．菌糸層の厚さから判断して，子実体を発生することができたのはシロが形成されてから3年目，断面形態でみると，層Vの位置からであったと思われる．4年目から5年目になると菌糸層の体積が多くなり，充分に子実体を形成とすることができるので，環状発生になるものと思われる．

このシロから土壌微生物を分離した結果をTable 1に示す．シロの外側①では*Mortierella* sp.をはじめ，他の土壌菌が出現し，放線菌や細菌も多かった．子実体発生位置の下，層III②では細

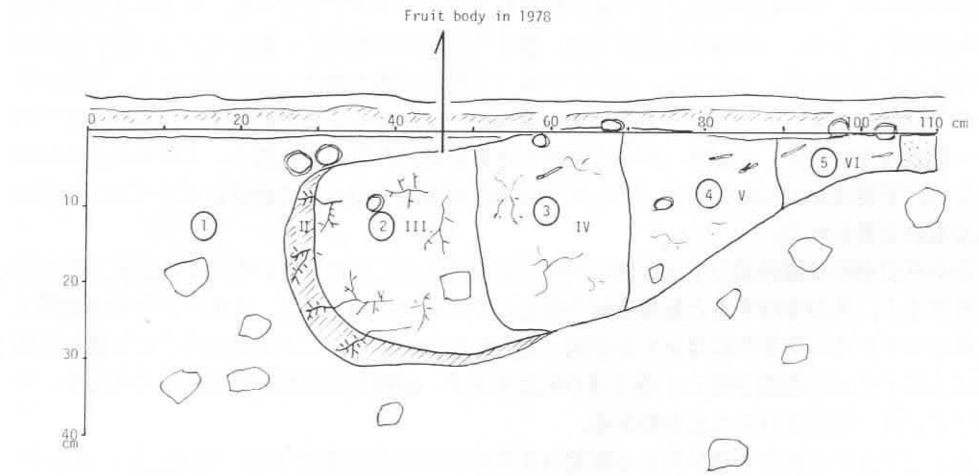


Fig. 4. The profile of Shiro in the primary stage. Oct. 23, 1978. Shitsumi, Funaigun, Kyoto.
The soil profile was made along the dotted linear line from the center forward outside shown in Fig. 3. II, III, IV, V and VI were the zones of Shiro. III was the zone grown in 1977 to 1978, IV in 1976 to 1977, V in 1975 to 1976, VI in 1974 to 1975 and the part with dots in 1973 to 1974. Such a zonation of Shiro was possible enough by the observation of the regular changes on the amount of roots and mycorrhiza and soil properties.

Table 1. Soil microorganisms in the Shiro of *Tricholoma matsutake*
Sampling: Oct. 23, 1978.
Soil microorganisms were isolated by dilution plate method on the soil extract medium and peptone-glucose-rose bengal medium. Colony counts: $\times 10^3$ per g of dry soil. Sampling points were shown in Fig. 4.

Soil microorganisms	Sampling point				
	1	2	3	4	5
Mortierella sp.	100	8	2	51	187
Penicillium spp.	1	0	0	1	11
Aspergillus sp.	1	0	0	0	1
Trichoderma sp.	1	0	0	0	0
Soil fungi total	103	8	2	52	199
Actinomycetes	210	0	0	0	114
Soil bacteria	340	0	0	12	183

菌と放線菌が完全に消失し，糸状菌の中でも *Mortierella* sp. がわずかに分離されたにすぎなかった．層Ⅳ③でも同様の傾向が認められたが，3年前に菌糸層があった層Ⅴ ④ では *Mortierella* sp. がふえ，細菌も出現した．4年前の位置，層Ⅵ⑤ではシロの外側にさほどかわらない微生物相がみられ，イヤ地が消失し始めているのがわかる．

マツタケのシロ内部からの土壌微生物の排除現象は大きなシロの場合と異ならなかったが，若いシロではその排除が多少強いように思われる．また，菌糸層がうすいシロの中心近くでは

イヤ地の消失も速く進行するようであり，微生物の排除現象の明りょうなのは活性菌根帯ができてからほぼ3年間と考えられる．土壌微生物相の変化からもこのシロが形成後5年を経たものであることが確認できた．

以上の結果からシロ形成過程について次のことが明らかになった．1)シロが形成される位置は鉱質土層が露出しやすい地形で，菌根として生長しつづけることの可能なアカマツの根が高密度に分布している場所であること．2)菌根形成はおそらく鉱質土層の表層近くで起ること．3)菌根が数年間充分生長しつづけるか，菌糸が新しい根と容易に菌根を形成できる場合にシロ形成が可能となること．4)シロのはじまりはいずれの場合も菌糸が浅く，半径約4 cm の円形集団であること．これはマツタケの菌糸が良好な条件下で4-6カ月間伸長生長した量に相当しており，おそらく1年分の生長量と思われる．5)シロができてから3年目には子実体を発生することができるほどの菌糸量に達すること．ただし，菌糸量が不足するために最初は弧生し，ついで群生，5年目に環状発生するようになるのが一般的である．環状発生してからのシロの生長は順調に進む．6)菌糸の拡大にともなってアカマツの根が菌根化し，生長しつづけるので，若いシロの根は放射状にシロの外側へとのびる場合が多いこと．7)菌根の土壌微生物排除能力は高いものと思われ，若いシロにおいてもシロ内部の土壌細菌，放線菌，糸状菌の排除が明りょうであること．8)菌糸の年生長量は土壌やアカマツの根の量，気象条件などが急激にかわらない限り，シロの令にかかわりなく，ほぼ一定であること．

アカマツ林の下層植生を除伐し，A_0層を除去することによってマツタケのシロを増殖させる施業を現在進めているが，施業後3-5年目からシロが確認されることが多い（伊藤ら，未発表）．これは施業の直後から菌根形成がはじまり，マツタケのシロ形成がつづいて起るためと考えられる．したがって，林地における施業効果や胞子の播種またはマツタケ感染苗（小川ら，1978）の移植によってシロの増殖をはかった効果を判定する際に3-5年という期間を判定の基準とする必要がある．すなわち，施業を行って3年以内に子実体が発生した場合は施業以前からあったシロの活動によるものと判定し，5年以上経過しても発生のなかった場合には効果がなかったものと判断することになる．

調査用の若いシロを提供していただいた京都府船井郡瑞穂町質美下区，調査の便を図っていただいた京都府林業試験場の山岸敏男場長はじめ職員の各位に感謝する．また調査に立ち会って，有益な助言を与えられた浜田　稔博士，小原弘之博士，下川利之氏，鳥越　茂氏，その他の方々に感謝する．

引 用 文 献

土壌微生物研究会編. 1975. 土壌微生物学実験法. 養賢堂，東京.

伊藤　武，小川　真. 1979. マツタケ菌の増殖法（II）林内植生の手入れとマツタケのシロの増加. 日林誌 **61**(5)：163-173.

小川　真. 1975a. アカマツ林における菌根菌，マツタケの微生物生態学的研究 I. マツタケのシロ. 林試研報 **272**：79-121.

————. 1975b. ————II. マツタケの菌根，林試研報 **278**：21-49.

————. 1977. ————III. マツタケのシロ土壌と菌根における菌類. 林試研報 **293**：105-170.

————, 梅原武夫, 紺谷修治, 山路木曽男. 1978. マツタケ菌の増殖法（I）マツタケ感染苗の育成. 日林誌 **60**(4) : 119-128.

(Accepted for publication 26 November 1980)